

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-96313

(43)公開日 平成9年(1997)4月8日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

F 1 6 C 32/04

識別記号

庁内整理番号

F I

F 1 6 C 32/04

技術表示箇所

Z

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 19 頁)

(21)出願番号 特願平7-254331

(22)出願日 平成7年(1995)9月29日

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 篠崎 順一郎

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 伊東 紀夫

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 今泉 寛

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

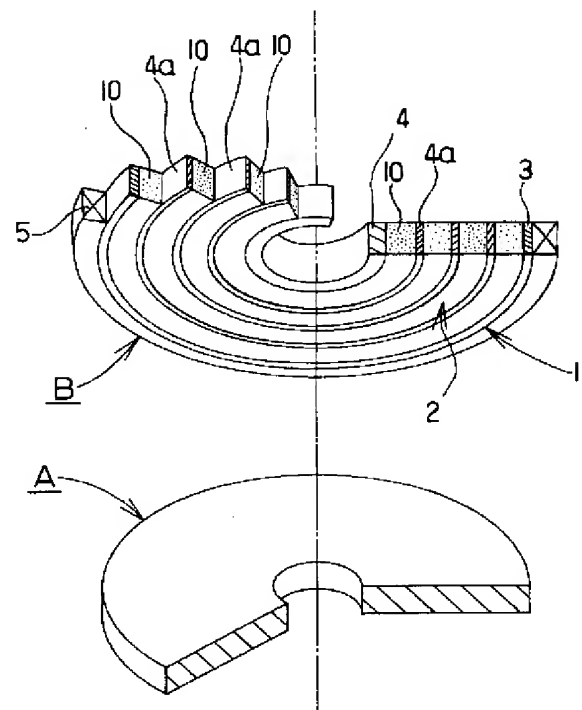
(74)代理人 弁理士 森 正澄

(54)【発明の名称】 超電導磁気軸受装置の磁石部補強構造に用いる組立て治具及び磁石部補強部材の装着方法

(57)【要約】

【目的】 フープを磁石部の外周に装着する場合、圧入装着に最適なフープの形状寸法やフープの装着を容易化する超電導磁気軸受装置の磁石部補強構造に用いる組立て治具及び磁石部補強部材の装着方法を得ること。

【構成】 超電導磁気軸受装置の回転体部Bに装着される磁石部1において、磁石部は回転体部の軸心を同心とする磁石リング体2を備え、組立体2の外周側には、その内径が前記組立体の外径より小さいCFRP製のリング状のフープ5を拡径して装着して、このフープにより前記環状永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮し、磁石リング体2を同心に載置するベース治具12と、フープ5を所定の締め代分まで拡径する傾斜面を備えたガイド治具13とから構成される組立て治具。フープ5の後に後押し中間フープ41を設け、更に、フープ5の前にガイドフープ42を設けてフープ5を磁石リング体2に装着する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部を組立てる治具において、前記磁石部は、前記回転体部の軸心を同心とする、環状永久磁石と環状ヨークを嵌合した磁石リング体を備え、前記磁石リング体の外周側には、その内径が前記磁石リング体の外径より小さい炭素繊維入り強化プラスチック（CFRP）製のリング状のフープを拡張して装着して、このフープにより前記環状永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮するものであって、前記組立て治具は、前記磁石リング体を同心に載置するベース治具と、この磁石リング体に同心に載置され、前記フープを所定の締め代分まで拡張する傾斜面を備えたガイド治具とから構成され、更に、前記磁石リング体の外周側に、軸方向の両端が当該磁石リング体の軸方向の上下面から突出し且つその外周面が前記ガイド治具の前記傾斜面に連なるリング状部材を装着するとともに、前記ガイド治具と前記リング状部材との間に、ガイド治具が外側でリング状部材が内側となる係合部を形成したことを特徴とする超電導磁気軸受装置における磁石部の組立て治具。

【請求項2】 超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部に、組立て治具を用いて補強部材を装着する方法において、前記磁石部は、前記回転体部の軸心を同心とする、環状永久磁石と環状ヨークを嵌合した磁石リング体を備え、前記磁石リング体の外周側には、その内径が前記磁石リング体の外径より小さい炭素繊維入り強化プラスチック（CFRP）製のリング状のフープを拡張して装着して、このフープにより前記環状永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮するものであって、前記磁石リング体の外周側に、軸方向の両端が当該磁石リング体の軸方向の上下面から突出し且つその外周面が前記ガイド治具の前記傾斜面に連なるリング状部材を装着し、前記組立て治具は、前記磁石リング体を同心に載置するベース治具と、この磁石リング体に同心に載置され、前記フープを所定の締め代分まで拡張する傾斜面を備えたガイド治具とから構成され、前記フープを前記ガイド治具の傾斜面に装着して、該フープを後押し治具で押圧するにあたり、前記フープと前記後押し治具の間に後押し中間フープを介在させて、フープを前記リング状部材に装着したことを特徴とする超電導磁気軸受装置における磁石部補強部材の装着方法。

【請求項3】 超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部に、組立て治具を用いて補強部材を装着する方法において、前記磁石部は、前記回転体部の軸心を同心とする、環状永久磁石と環状ヨークを嵌合した磁石リング体を備え、前記磁石リング体の外周側には、その内径が前記磁石リ

ング体の外径より小さい炭素繊維入り強化プラスチック（CFRP）製のリング状のフープを拡張して装着して、このフープにより前記環状永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮するものであって、前記磁石リング体の外周側に、軸方向の両端が当該磁石リング体の軸方向の上下面から突出し且つその外周面が前記ガイド治具の前記傾斜面に連なるリング状部材を装着し、前記組立て治具は、前記磁石リング体を同心に載置するベース治具と、この磁石リング体に同心に載置され、前記フープを所定の締め代分まで拡張する傾斜面を備えたガイド治具とから構成され、前記フープを前記ガイド治具の傾斜面に装着して、該フープを後押し治具で押圧するにあたり、前記フープの前にガイドフープを設けるとともに、前記フープと前記後押し治具の間に後押し中間フープを介在させて、フープを前記リング状部材に装着したことを特徴とする超電導磁気軸受装置における磁石部補強部材の装着方法。

【請求項4】 前記後押し中間フープ及び（又は）前記ガイドフープは、前記磁石リング体圧縮用のフープと同一材料で形成されるとともに、同一径もしくは、やや大きめで締め代が小さい径であることを特徴とする請求項2又は3記載の超電導磁気軸受装置における磁石部補強部材の装着方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、高速回転を必要とする流体機械や工作機械、余剰電力をフライホイールの回転エネルギーに変換して貯蔵する電力貯蔵装置等に用いられる超電導体を用いた超電導磁気軸受装置の、磁石部補強構造に用いる組立て治具及び磁石部補強部材の装着方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、超電導体を利用して、回転体（以下、回転軸を含む意味で用いる。）を非接触状態で軸支することにより、高速回転を可能とした超電導磁気軸受装置が開発されている。

【0003】この種の超電導磁気軸受装置は、固定体部に装着される超電導体部と、回転体部に装着される永久磁石を有する磁石部とを備え、超電導体部と磁石部とを間隔を設けて向き合うように配設された構成が一般的とされており、回転体部の回転動作時には、この回転体部とともに磁石部が回転するように構成されている。

【0004】この磁石部の永久磁石としては、Pr-F e-B-Cu系の熱間加工方法により製造された永久磁石や、Nd-F e-B系の焼結磁石が、一般的に用いられている。ところが、前者の引張強度は、 $24\text{Kg/mm}^2$ を上限とし、後者の引張強度は、 $8\text{Kg/mm}^2$ を上限としており、磁石の引張強度は比較的に低い。他方、これらの磁石の圧縮強度は、略 $100\text{Kg/mm}^2$ とな

っており、極めて高い。従って、回転動作時に、磁石部を回転破壊させないためには、回転遠心力により磁石に生じる引っ張り力を、この引張強度内に収める必要があり、その結果回転数が制約されていた。特に、余剰電力をフライホイールの回転エネルギーとして蓄積し電力負荷を平準化する電力貯蔵装置においては、回転速度が増加できれば、蓄積できるエネルギー容量が飛躍的に増大するので、高回転化が望まれているが、この制約により高性能化が阻害されているという問題を生じていた。

【0005】そこで、本発明者等は、磁石部を予め圧縮するストレスを与えておいて、見掛け上の引張強度を向上させることにより、高速回転を可能とした磁石部の補強構造を既に提案している（特願平7-29490号、同7-56208号、同7-74066号、同7-81446号）。

【0006】すなわち、前述したように、回転体部に設置される磁石は、その引張強度は比較的に低い一方、圧縮強度は略100Kg/mm<sup>2</sup>と極めて高い。本発明者等はこの点に着目し、磁石に予め圧縮力を付与しておくことを基本とし、そして、単にフープによる圧縮力の付与のみならず、付与圧縮力つまりフープによって加えられた力が、回転の際の遠心力により減少させられるのを可及的に阻止することができる構成（装置及び方法）を提案した。

【0007】このフープは、永久磁石よりも比重が小さくて、回転時に自身に生じる回転遠心力の悪影響を被ることが少なく、且つ引張破壊強度の大きい材料により構成され、更に、このフープによる永久磁石の半径方向及び周方向のそれぞれの圧縮力を、前記回転体部の停止時に磁石の圧縮破壊応力より小さい最適に設定したものである。すなわち、最適な応力状態は、回転停止時に、磁石部の磁石をフープにより限界の圧縮強度まで圧縮するとともに、フープ自体には余裕が有るような引張応力を持たせるようにすることが望ましい。つまり、このフープの余裕量は、磁石が回転動作時の遠心力により破壊される回転数において、フープ自体に作用する遠心力による引張応力や磁石からの引張応力の合計より、大きくなければならない。

【0008】このようにして、先に提案したものは、少なくとも回転体部の磁石部は、回転体部の軸心を同心とする永久磁石を備え、そして、前記永久磁石の外周側に、当該永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮するリング状のフープを装着した構成からなる装置及び方法であり、高速回転化に対応できるだけでなく、永久磁石の外形状を大きくしても、磁石の機械的強度を向上させることができるので、載荷力の大きな超電導磁気軸受装置を得ることができた。

【0009】また、このフープ部材としては、磁石に比べて比重が軽く、引張り強度が高い炭素繊維入り強化プラスチック（CFRP）が用いられている。このCFR

Pは、基本的に炭素繊維を、芯となる所定寸法のマンドレルに巻き付け、これをプラスチック成形により所定の外径状に形成されている。

【0010】ところが、このようなフープを磁石部に装着する作業が、以外と困難である。すなわち、直接、炭素繊維を磁石部の外周に張力を働かせつつ巻付けて、巻付け後に必要な応力状態となることが理想的であるが、現状においては、巻付け作業の張力制御等が困難なことにより、実用的でない。また、必要な応力状態となっているかを判別するには、実際に回転動作させて回転破壊が生じないか否かでないと決定することができない。

【0011】そこで、所定の圧縮応力を与える締め代を確保するために、磁石部の外径よりも内径が小さいフープを拡張しながら磁石部に装着して圧縮することになるが、このフープとして用いられるCFRPは、極異方性材料として知られており、その円周軸方向の引張強度は極度に大きい一方、これに対して横方向の応力には、比較的弱い。このため、組立て時の圧入力によりフープ端面から崩壊したり、フープを拡張する治具の傾斜角度によっては、フープの外周面にひびが入ったりして、フープ自体を損傷して、フープ圧入装着が不可能となる不都合があった。

【0012】そこで、本発明者は、これらの原因を、材料力学的に厳密に考察することにより、先に提案したフープを磁石部の外周に装着した超電導磁気軸受装置及び方法において、図17に示すように、圧入装着に最適なフープの形状寸法や、フープの装着を容易化する組立て治具を提案した。すなわち、この組立て治具11は、磁石リング体2を同心に載置するベース治具12と、この磁石リング体2に同心に載置され、所定の外形状に形成されたガイド治具13と、フープ5を装着方向に押圧して移動させる押圧治具（図示を省略）とから構成されている。

【0013】また、装着されるフープと磁石部2との間には、フープと同様に比重が軽いアルミ素材を用いたリング状部材3を介在させ、このリング状部材3によって、フープからの圧縮力を均一化して、磁石部2に圧縮力を供給するようにしている。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】ところが、このようにフープを損傷することなく所定径に拡張可能な組立て治具を用いても、フープを磁石リング体の外周に乗り移らせる途上において、フープが損傷したり、フープを最後まで圧入できない等の各種の不具合を生じる虞がある。

【0015】すなわち、まず、図18（1）に示すように、装着途中のフープ5が磁石リング体2に乗り移る際において、フープ5により内方に縮径されたガイド治具13と、フープ5が到達していないリング状部材3との間に段差が生じてしまう。そして、この段差に、フープ5の先端が引掛るので、リング状部材3がフープ5を留め

て、フープ5が欠損する虞を生じる。

【0016】また、図18(2)に示すように、フープ5がリング状部材3の途中まで移動した場合は、フープ5により内方に圧縮されたリング状部材3を、フープ5の先端が削ってしまう虞を生じる。

【0017】更に、図18(3)に示すように、フープ5が正常な装着位置に到達する付近においては、それ以前、リング状部材3とガイド治具13の双方がフープ5により同様に縮められているのに対して、フープ5の大部分がリング状部材3に乗り移った時点で、フープ5による圧縮力が解除されたガイド治具13だけが広がることになり、両者の間に段差が生じ、この段差によりフープ5の後端が欠損したり変形させられたりして、フープ5を損傷する虞を生じる。

【0018】また更に、フープ5を正常に最後まで圧入装着できないという不都合も生じ得る。すなわち、図18(4)に示すように、圧入装着されるフープ5は、横断面形状において平行四辺形に変形し、外周側が内周側より下がり、この外周先端がベース治具に当接してしまうので、フープ5の装着を容易化する潤滑剤が、この空間に溜まってしまう。また、このまま圧入を解除すると、正常な形状に戻るもので、前記の平行四辺形に変形した状態下のものに対して段差が生じてしまい、この補正工程を設ける必要もあった。

【0019】本発明は、前記事情に鑑みてなされたもので、ガイド治具に一部工夫を設けたり、また、フープの装着を補助する別のフープを設けたりして、前述の不都合を解消し、これによりフープ損傷を防止することの可能な組立て治具及び磁石部補強部材の装着方法を提供すること目的としている。

【0020】

【課題を解決するための手段】本願第1請求項に記載した発明は、超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部を組立てる治具において、前記磁石部は、前記回転体部の軸心を同心とする、環状永久磁石と環状ヨークを嵌合した磁石リング体を備え、前記磁石リング体の外周側には、その内径が前記磁石リング体の外径より小さい炭素繊維入り強化プラスチック(CFRP)製のリング状のフープを拡張して装着して、このフープにより前記環状永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮するものであって、前記組立て治具は、前記磁石リング体を同心に載置するベース治具と、この磁石リング体に同心に載置され、前記フープを所定の締め代分まで拡張する傾斜面を備えたガイド治具とから構成され、更に、前記磁石リング体の外周側に、軸方向の両端が当該磁石リング体の軸方向の上下面から突出し且つその外周面が前記ガイド治具の前記傾斜面に連なるリング状部材を装着するとともに、前記ガイド治具と前記リング状部材との間に、ガイド治具が外側でリング状部材が内側となる係合部を形成した、超電導磁気軸受装置における磁石部の組立て治

具である。

【0021】前記フープは、ガイド治具の傾斜面を押圧治具等により押されて、所定の締め代分まで拡張される。このときフープによりガイド治具が縮径されると同時に、この縮径されたガイド治具の端部(スカート部)に係合されたリング状部材が同様に縮径されるので、ガイド治具とリングとの間に段差の生じることが防止され、フープ内周の不慮の損傷を回避できる。

【0022】本願第2請求項に記載した発明は、超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部に、組立て治具を用いて補強部材を装着する方法において、前記磁石部は、前記回転体部の軸心を同心とする、環状永久磁石と環状ヨークを嵌合した磁石リング体を備え、前記磁石リング体の外周側には、その内径が前記磁石リング体の外径より小さい炭素繊維入り強化プラスチック(CFRP)製のリング状のフープを拡張して装着して、このフープにより前記環状永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮するものであって、前記磁石リング体の外周側に、軸方向の両端が当該磁石リング体の軸方向の上下面から突出し且つその外周面が前記ガイド治具の前記傾斜面に連なるリング状部材を装着し、前記組立て治具は、前記磁石リング体を同心に載置するベース治具と、この磁石リング体に同心に載置され、前記フープを所定の締め代分まで拡張する傾斜面を備えたガイド治具とから構成され、前記フープを前記ガイド治具の傾斜面に装着して、該フープを後押し治具で押圧するにあたり、前記フープと前記後押し治具の間に後押し中間フープを介在させて、フープを前記リング状部材に装着した超電導磁気軸受装置における磁石部補強部材の装着方法である。

【0023】前記フープは、ガイド治具の傾斜面を押圧治具等により押されて、所定の締め代分まで拡張される。更にフープが移動し続けると、ガイド治具のつなぎ部を介して、リング状部材に移動する。

【0024】そして、フープの大部分が磁石リング体に乗り移った際には、フープを後押し中間フープにより装着移動させているので、フープが供給していた圧縮力を、後押し中間フープが同一状態に補充するので、ガイド治具と磁石リング体との間に圧縮力差に基づく段差が生じることが防止され、この段差によるフープの損傷を回避できる。

【0025】本願第3請求項に記載した発明は、超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部に、組立て治具を用いて補強部材を装着する方法において、前記磁石部は、前記回転体部の軸心を同心とする、環状永久磁石と環状ヨークを嵌合した磁石リング体を備え、前記磁石リング体の外周側には、その内径が前記磁石リング体の外径より小さい炭素繊維入り強化プラスチック(CFRP)製のリング状のフープを拡張して装着して、このフープにより前記環状永久磁石を半径方向及び周方向に圧縮するものであって、前記磁石リング体の外周側に、軸

方向の両端が当該磁石リング体の軸方向の上下面から突出し且つその外周面が前記ガイド治具の前記傾斜面に連なるリング状部材を装着し、前記組立て治具は、前記磁石リング体を同心に載置するベース治具と、この磁石リング体に同心に載置され、前記フープを所定の締め代分まで拡張する傾斜面を備えたガイド治具とから構成され、前記フープを前記ガイド治具の傾斜面に装着して、該フープを後押し治具で押圧するにあたり、前記フープの前にガイドフープを設けるとともに、前記フープと前記後押し治具の間に後押し中間フープを介在させて、フープを前記リング状部材に装着した超電導磁気軸受装置における磁石部補強部材の装着方法である。

【0026】従って、このガイドフープによりガイド治具が縮径されるとともに、ガイドフープがリング状部材に乗り移って当該リング状部材が同様に縮径されるので、ベース治具とリング状部材との間に段差を生じることが防止され、後行する本来のフープがスムーズにリング状部材に乗り移ることを可能とする。更に、後押し中間フープを設けているので、フープの大部分が磁石リング体に移った際には、フープを後押し中間フープにより装着移動させることとなり、これによりフープが供給していた圧縮力を、後押し中間フープが同一状態に補充するので、ガイド治具と磁石リング体との間に圧縮力差に基づく段差が生じることが防止され、この段差によるフープの損傷を回避できる。

【0027】本願第4請求項に記載した発明は、前記請求項2又は3の発明において、前記後押し中間フープ及び(又は)前記ガイドフープは、前記磁石リング体圧縮用のフープと同一材料で形成されるとともに、同一径もしくは、やや大きめで締め代が小さい径を備えている構成の超電導磁気軸受装置における磁石部補強部材の装着方法である。

【0028】このように構成した場合は、本来のフープに対する後押し中間フープの働き、及び(又は)ガイドフープの働きが、これらの両フープが同一材料且つ内径が同一又は僅かに大きく設定されていることにより、もしくは、段差を軽減できることにより、確實且つ円滑になされ得るものである。

【0029】

【発明の実施の形態】以下に、本発明を図1ないし図11に示す第1の具体例に基づいて説明する。

【0030】図1は、本例の磁石部補強構造を用いた超電導磁気軸受装置を示し、この超電導磁気軸受装置における主要部の概略構成を説明する一部破断した斜視図である。この超電導磁気軸受装置は、固定体部Aに装着される超電導体部と回転体部Bに装着される磁石部1とを備え、超電導体部と磁石部1が間隔を設けて向き合うように配設される形式の超電導軸受装置である。

【0031】前記超電導体部は、従来公知の構造を備え、図示を省略した冷却ケースに収納されている。この

冷却ケースの外径側には、銅又は他の金属材料により形成された環状の支持体が固定され、この支持体の内部に、超電導体が環状に埋設されている。また、この冷却ケース内には、冷媒が循環通流され、この冷媒により、冷却ケース内を、超電導状態を維持できる所定の低温に、維持している。

【0032】前記超電導体部は、イットリウム系高温超電導体、例えば $YBa_2Cu_3O_x$ からなる基板の内部に、常電導粒子 $Y_2BaCu$ を均一に混在させて形成されており、内部を流れる超電導電流により、磁石部1が発生する磁束の侵入路を、拘束する性質を有している。

【0033】更に、超電導体部は、磁石部1と、軸方向において所定の距離を設けて、対面して配置されている。すなわち、これらの両者の離間距離は、この磁石部1から生じる磁束が超電導体部内に所定量、侵入できると同時に、回転体部Bが回転しても、侵入した磁束の分布状態が変化しない距離となっている。

【0034】前記回転体部Bは、主に磁石部1から構成され、この磁石部1は、図示を省略した軸に嵌着される中空軸を有するハブ4と、このハブ4に固着された磁石リング体2とから構成されている。また、この磁石リング体2は、回転体部Bの軸心を同心とし、且つ隣接する磁石の着磁方向が相互に半径方向に反発する複数の環状永久磁石10、10と、各環状永久磁石10、10間に介在された環状の軟磁性体ヨーク4aとから構成されている。

【0035】尚、この磁石リング体2の構成は、このように径方向に反発着磁された環状磁石を透磁性体ヨークを介して多重化したものや、単一の磁石により形成されたものでも良く、後述する各具体例においては、基本的に同一構成とされるので、説明を省略することにする。

【0036】また、本具体例においては、前記環状永久磁石10として、例えば、 $Pr-Fe-B-Cu$ 系の熱間加工方法で製造された永久磁石を、また、環状の軟磁性体ヨーク4aには純鉄等の軟鉄を用いて形成している。このような構造においては、ある2つの環状永久磁石10、10のN極からの磁束は、環状の軟磁性体ヨーク4aを通過して、それぞれの環状永久磁石10、10のS極に戻る。従って、各環状永久磁石10、10が生成する磁束は、環状軟磁性体ヨーク4aにより絞られ集中化されるので、前記超電導体部に到達する磁束密度は、大幅に増大することができる。また、このような各環状永久磁石10が形成する磁気回路は、軸対称となっている。

【0037】そして、この超電導磁気軸受装置において、超電導体部が、冷却ケース内を循環する冷媒により冷却され、超電導状態に維持される。この超電導状態において、回転体部Bの環状永久磁石10からの磁束は、超電導体内に均一に混在された常電導粒子を選択的に通

るように侵入するとともに、この侵入した磁束の回りを超電導電流が流れることによって、磁束の侵入路が一定に固定される。従って、回転体部Bが環状永久磁石10とともに、あたかも磁束を介して超電導体に拘束されているような状態（ピンニング現象）となる。しかし、磁束密度が変化しない方向への磁石の移動は超電導体に束縛されないで、軸対称な磁気回路により構成された環状永久磁石10は、回転方向への束縛を受けずにスムーズに回転することができる。

【0038】尚、超電導軸受装置の軸受が大型化して、単一の環状永久磁石を形成できず、周方向に分割された複数の永久磁石を各々接合して環状永久磁石10を形成する場合においても、環状永久磁石10と環状軟磁性体ヨーク4aとを交互に配置する構成によれば、各環状永久磁石10を形成する分割磁石の接合面に生じる磁束むらが低減でき、単一の環状永久磁石を形成したこととほぼ同一となるので、大規模な軸受装置を製作することが可能となる。

【0039】また、5は、この磁石リング体2の最外側に装着され磁石リング体2を補強するフープであり、本具体例では、炭素繊維入り強化プラスチック（CFRP）を用いて、リング状に形成している。そして、このフープ5から内方の磁石部1に圧縮力を供給することにより、磁石部1が高回転動作する時の遠心力による引張り破壊を可能な限り防止している。

【0040】この磁石部1の外周側に装着されるリング状のフープ5は、炭素繊維入り強化プラスチック（CFRP）により形成され、このCFRPの材料特性は、密度 $[g/cm^3]$ が1.6、ポアソン比が0.3、ヤング率 $(E[\times 10^{11}Pa])$ が1.72となっている。また、本具体例のPr磁石は、密度 $[g/cm^3]$ が7.4、ポアソン比が0.24、ヤング率 $(E[\times 10^{11}Pa])$ が1.34である。

【0041】また、このフープと磁石リング体2との間には、リング状部材3が介在されており、このリング状部材3により、この外周側に装着されるフープ5によって磁石リング体2に供給される圧縮力を均一化するようにしている。

【0042】そして、このようなフープ5によって、所定の圧縮力を内方の磁石リング体2に供給するためには、磁石リング体2の外径に基づき、予めフープ5の内径を減少させて形成し、これらの径差、つまり、締め代分だけ、フープ5を拡張して、磁石リング体2の外周に装着する必要がある。

【0043】そこで、図3に示すような組立て治具11を用いて、フープ5を所定径に拡張して磁石リング体2に装着している。

【0044】すなわち、この組立て治具11は、超電導磁気軸受装置の磁石部1を構成する磁石リング体2を同心に載置するベース治具12と、この磁石リング体2に

同心に載置され、所定の外形に形成されたガイド治具13と、フープ5を後押し中間フープ41を介して装着方向に押圧して移動させる押圧治具14とから構成され、更に、ガイド治具13の下端外周に設けたスカート部45に、磁石リング体2外周のリング部材3を係合して構成されている。

【0045】そして、これらのベース治具12及びガイド治具13の間に、超電導磁気軸受装置の磁石リング体2をセットし、前記CFRP製リング状のフープ5を、後押し中間フープ41とともに円筒形状の押圧治具14を用いて、ガイド治具13の上方から押し入れ、このガイド治具13によりフープ5を破壊しないように所定の締め代分だけ拡張しながら、フープ5を磁石リング体2の外周に装着して、超電導磁気軸受装置の磁石部1を製作するようにしている。

【0046】従って、組立て完了後には、この締め代分だけ拡張されて磁石リング体2の外周に装着されたフープ5によって、内周側の磁石リング体2に所定の圧縮力が供給され、磁石部1の遠心破壊に対する耐性を向上でき、この磁石部1を用いた超電導磁気軸受装置は高回転能力を得ることができる。

【0047】前記磁石リング体2は、予め中空軸を備えたハブ4を中心として、複数の環状永久磁石10、10を環状の軟磁性体ヨーク4を介して多重リング化した中空の円盤状に形成され、この磁石リング体2の軸方向高さ寸法と、この磁石リング体2に装着するフープ5の高さ寸法とは、同一に設定されている。また、この磁石リング体2の外周には、予めリング状部材3が装着されている。

【0048】このリング状部材3は、本具体例においては、鉄系の素材を用いて、形成されている。また、リング状部材3の軸方向高さ寸法は、磁石リング体2の軸方向高さ寸法よりも、所定寸法だけ大きく形成され、上端及び下端が、磁石リング体2の上下面から突出形成されている。更に、この突出形成された先端には、内周側が軸方向に高い段差部が設けられ、各治具12、13の対応する基準面に当接して、組立て治具11にリング状部材3を含めた磁石リング体2をセットした場合に、互いに正確な同軸上に位置決めできるようにしている。尚、フープ装着完了後には、この突出部は、除去される。

【0049】また、このリング状部材3を含めた磁石リング体2の外径寸法に応じて、フープ5の内周径が設定されている。すなわち、予めフープ5により与える応力に応じた締め代分だけ、小さくなるように非応力状態のフープ5内周の内径寸法が設定されている。従って、この締め代分だけ拡張されて、磁石リング体2の外周に装着されたフープ5は、内周側の磁石リング体2に所定の圧縮力を供給できるようになっている。

【0050】更に、このフープ5に用いられているCFRPは、極異方性材料として知られており、その円周軸



## 1 1

方向の引張強度は、極度に大きい一方、これに対して横方向の許容応力は、比較的弱い。すなわち、このCFRP製フープ5を磁石リング体2に装着する際には、フープ5に対して横方向の圧入力を加えて装着するので、このCFRPの横方向許容応力を越えない圧入力をを用いている。

【0051】そして、このフープ5は、フープ5の装着方向に対して後ろ側に取付けられた後押し中間フープ41を介して、押圧治具14により、磁石リング体2側に移動される。この押圧治具14は、鉄系等の剛性強度が高い素材を用いて、パイプ状に形成され、少なくとも内径が、リング状部材3を含めた磁石リング体2の外径よりも大きく設定されている。また、押圧治具14の下端面は、平坦に形成され、上端は、図示を省略した駆動装置に接続され、この駆動装置により、軸方向の上下移動が可能になっている。

【0052】また、この後押し中間フープ41は、フープ5と同一な素材(CFRP)により、リング状に形成されている。また、この後押し中間フープ41の内径半径は、フープ5よりも僅かに大きく設定され、締め代を軽減させている。従って、後述するガイド治具13から後押し中間フープ41を分離する際には、この後押し中間フープ41からガイド治具13を締め付ける圧縮力が軽減され、分離作業をスムーズ化するとともに、この作業時にガイド治具13及び後押し中間フープ41自体を不要に損傷することを防止している。例えば、本来のフープ5の締め代が、1.6(mm)の場合には、後押し中間フープ41の締め代を、半減させた約0.8(mm)に設定している。

【0053】また、後押し中間フープ41の装着方向に対して後端側の内周全周に亘って、テーパ面が形成され、このテーパ面は、後端側の開口部に向かって拡張するような形状に形成されている。従って、後押し中間フープ41を、ガイド治具13から分離するには、押圧治具14を用いて、後押し中間フープ41を装着方向に移動させて分離するが、この際に、後押し中間フープ41の分離移動に伴い内径が拡張するテーパ面を形成しているので、後押し中間フープ41とガイド治具13と当接する径差、すなわち、締め代が減少され、後押し中間フープ41がガイド治具13に供給する圧縮力が減少できる。この結果、後押し中間フープ41及びガイド治具13の不慮の損傷することを防止でき、繰り返し使用することが可能となる。

【0054】また更に、後押し中間フープ41の装着方向の先端からテーパが開始されるまでの高さ寸法は、後述するガイド治具13のスカート部45の先端からガイド治具13と磁石リング体2接触端面までの距離に基づき、この距離の2倍よりも、大きく設定されている。すなわち、図6に示すように、フープ5の装着完了後には、後押し中間フープ41がガイド治具13に接触する

## 1 2

部分(同図中のaにより示す)が、磁石リング体2のリング状部材3に接触する部分(同図中bにより示す)より、大きくなるよう設けられている。従って、ガイド治具13を、フープ5が装着された磁石リング体2から分離すると、後押し中間フープ41がガイド治具13側に残留し、ガイド治具13と共に、磁石リング体2から分離する。

【0055】また更に、フープ5の装着方向の後端を後押し中間フープ41により押して装着移動させているので、図7(b)に示すように、フープ5の大部分が磁石リング体2に乗り移った際にも、このフープ5が供給していた圧縮力を、後続する後押し中間フープ41が同一状態に補充するので、圧縮力の格差により段差の生じることが防止され、この段差によるフープ5の損傷を回避できる。すなわち、このような後押し中間フープ41を用いない場合には、フープ5の大部分が磁石リング体2に乗り移って磁石リング体2が縮径すると同時に、このフープ5からの圧縮力の大部分が治具から解除されて当該治具が拡張し、これにより段差を生じることになるが、後押し中間フープ41を設けることにより、これを回避することができる。この結果、フープ装着作業の終了間際に、この段差によりフープ5の装着方向の後端が欠損することを防止することができる。

【0056】前記ガイド治具13は、その素材として、非磁性金属素材が用いられ、磁石リング体2に磁力吸着されないようにしている。また、このガイド治具13は、略台形状の外周面が所定形状に形成され、下端外周には磁石リング体2のリング状部材3に係合するスカート部45が、下面には、フープ装着後に磁石リング体2を分離するイジェクト・リング部19が、設けられている。

【0057】すなわち、このガイド治具13の外周面は、図4に示すように、上方から磁石リング体2に向った下方に、順次、拡張ガイド面部13Aと、つなぎ部13Bと、移行ガイド部13Cが設けられている。

【0058】この拡張ガイド面部13Aは、上端の外径寸法が、非応力状態のフープ5の内径よりも小さく設定されるとともに、下端は、つなぎ部13Bを介して、所定の締め代分だけ上端外径よりも径が大きく、且つ、磁石リング体2の外径に等しい移行ガイド部13Cに連続している。また、この拡張ガイド面部13Aの軸線から傾斜した傾斜角度は、フープ5の材料強度特性に応じて、フープ5を非破壊に拡張可能な最適値に設定されている。

【0059】また、つなぎ部13Bは、径方向の断面形状において、フープ5を非破壊に移行ガイド部13Cに移行させる所定の半径が設定されている。

【0060】更に、ガイド治具13の下端に位置する移行ガイド面部の直径は、リング状部材3を含めた磁石リング体2の外径と等しく設定され、移行ガイド部13C

## 13

の下端面と、磁石リング体2のリング状部材3外周面とは、面一になるように設けられている。

【0061】従って、このようにガイド治具13の外周面に形成された拡径ガイド面部13A、つなぎ部13B、移行ガイド部13Cを、リング状フープ5が順次、移動し、これによりフープ5を損傷すること無く、所定の締め代まで拡径して、磁石部の外周に装着できるようにしている。

【0062】また、前記スカート部45は、ガイド治具13の下端外周を、所定寸法に切欠くとともに、この切欠部の外周縁を、装着方向に所定寸法、突出されて形成されている。また、このスカート部45は、外周面が移行部と連続する同一面に形成されている。

【0063】そして、上述した磁石リング体2のリング状部材3の上端を、このスカート部45の内周壁に係合して、磁石リング体2にガイド治具13を正確に同軸位置決めできるようにしている。すなわち、ガイド治具13とリング状部材3との間に、ガイド治具が外側でリング状部材が内側となる係合部を形成したものである。例えば、フープ5を多重化する構成においては、フープ5を磁石リング体2の外周に装着する毎に、磁石リング体2の内外径が僅かでも減少し続けことになり、この内径をもって正確な同軸位置決めをすることは困難である。従って、組立て途中の磁石リング体の最外周のリング状部材3を、その軸方向の両端を磁石リング体2の上下面から突出して形成し、この磁石リング体2外周径の突出部を、ガイド治具13のスカート部45に係合することにより、フープ多重装着による磁石リング体の内径変化に拘りなく、ガイド治具13と磁石リング体2とが互いに、正確に同軸位置になるようにしている。

【0064】また、この磁石リング体2外周のリング状部材3突出部を、ガイド治具13のスカート部45に係合することにより、フープ5の先端がガイド治具13から、リングに乗り移る際に、フープ内周を不要に損傷すること防止している。すなわち、この際には、図7(a)に示すように、このフープ5によりガイド治具13が縮径されると同時に、この縮径されたガイド治具13のスカート部45に係合されたリング状部材3が同様に縮径されるので、ガイド治具13とリングとの間に段差の生じることが防止され、フープ内周の不慮の損傷を回避できる。

【0065】また、このスカート部45は、強度的に十分な寸法設定により形成することができる。すなわち、例えば、図5に示すように、このスカート部45の実際の寸法を、 $t=1$  (mm)、 $h=0.5$  (mm) に設定して、スカート部45を形成すると、スカート部45に生じる剪断応力 $\tau$ は、次式により近似される。

$$\tau = h / t \cdot P$$

従って、このフープ5により供給される圧縮圧力が、13 (Kg/mm<sup>2</sup>) とすると、これらの値を上式に代入

## 14

して、 $\tau=6.5$  (Kg/mm<sup>2</sup>) が得られる。これは、実際のガイド治具13に用いる鉄系材料の許容剪断応力よりも十分に小さく、実用的な範囲に収まっており、スカート部45の応力破壊や塑性変形を防止できる。また、図8に示すように、フープ5の装着を完了した場合には、後押し中間フープ41によって、フープ5より軽減された圧縮圧力が加えられるので、同様に損傷することを防止できる。

【0067】また、後押し中間フープ41の高さ寸法に基づいて、図6に示すように、フープ5の装着完了後には、後押し中間フープ41のガイド治具13に接触する部分が、磁石リング体2のリング状部材3に接触する部分より、大きくなるように設定されている。従って、ガイド治具13を、フープ5が装着された磁石リング体2から分離すると、後押し中間フープ41がガイド治具13側に残るように設けられている。

【0068】再び、図2及び図3に示すように、前記ガイド治具13のイジェクト・リング部19は、各治具12、13とフープ5が装着された磁石リング体2とを分離することは、人力を用いた場合には困難なので、前述したイジェクト・リング部18、19を用いて、容易に取外せるようにしている。

【0069】すなわち、このイジェクト・リング部19は、その素材として、ガイド治具13と同一な非磁性金属素材が用いられ、磁石リング体2に磁力吸着されないようにしている。また、このイジェクト・リング部19は、厚肉且つ幅広の中空円盤状に形成され、この外形形状に応じて形成されたガイド治具13の切欠部内に収納されている。従って、収納時には、磁石リング体2に面したイジェクト・リング部19の端面と、ガイド治具13の端面とが同一平面となる。また、イジェクト・リング部19は、幅広の中空円盤状に形成され、磁石リング体2との接触面積が大きく設定されているので、後述するようにフープ5を装着した磁石リング体2の大部分を無理なく押圧して、ガイド治具13から磁石リング体2を取外せるようにしている。

【0070】また、ガイド治具13のイジェクト・リング部19の背面側には、このイジェクト・リング部の周上に沿って所定の間隔を設けて、ネジ溝が形成された押しネジ用のネジ孔19aが複数形成され、このネジ孔19aに押しネジ19bを装着することにより、イジェクト・リング部19をガイド治具13又はベース治具12の接触面から突出させることができるようにしている。従って、図8に示すように、ガイド治具13を用いて、フープ5を磁石リング体2に装着を完了した後は、図9(a)に示すように、これらの押しネジ19bを用いて、イジェクト・リング部19をガイド治具13の接触面から突出させ、フープ5が装着された磁石リング体2の損傷を防止しながら容易に取外すことができる。



## 15

【0071】再び、図2及び図3に示すように、前記ベース治具12は、ガイド治具13と同様に非磁性金属素材が用いられ、磁石リング体2に磁力吸着されることを防止している。また、このベース治具12は、円筒台座状の上面が平坦な形状に形成され、上面にセットされる磁石リング体2のリング状部材3に対応して、基準位置決め部16となる周状の切欠溝を備えて形成され、この基準位置決め部16の内方には、イジェクト・リング部18が設けられている。

【0072】前記基準位置決め部16は、磁石リング体2外周のリング状部材3の突出部に対応して、ベース治具12に切欠溝状に形成されている。すなわち、基準位置決め部16の外周径は、磁石リング体2外周のリング状部材3を含めた外径に等しく設定される一方、内周径は、フープ装着後に磁石リング体2が縮径するに伴って減少するリング状部材3の内径よりも、小さく設定されている。

【0073】従って、ベース治具12の基準位置決め部16の外周壁に、リング状部材3の外周側を嵌合させることにより、ベース治具12に磁石リング体2を、同軸上にセットすることができる。

【0074】また、ベース治具12に磁石リング体2をセットした場合には、リング状部材3の内方に基準位置決め部16の空間部を形成しているため、フープ5の装着後に、このフープ5からの圧縮力により磁石リング体2が中心方向に縮径した場合にも、リング状部材3が当該基準位置決め部16の内周壁に喰い付くことを防止でき、ベース治具からフープ5を装着した磁石リング体2をスムーズに分離することができる。従って、後述する磁石リング体2を強制的に分離させるイジェクト・リング部18を不要とすることもできる。

【0075】更に、フープ5を多重に装着する場合には、各フープ5に対応した複数の基準位置決め部16を、単一のベース治具12に形成しておくことができ、ベース治具12を各装着行程に兼用することができる。従って、同一なベース治具12及びベース治具12関連の機材を用いて効率化を図ることができるとともに、組立て治具11の設置及びそれを用いる作業スペースを減少化できることになる。

【0076】前記ベース治具12のイジェクト・リング部18は、ガイド治具13のイジェクト・リング部19と同様に、非磁性金属素材が用いて、磁石リング体2に磁力吸着されることを防止し、厚肉且つ幅広の中空円盤状に形成され、磁石リング体2との接触面積が大きく設定されている。また、このイジェクト・リング部18は、その外形状に応じて形成されたベース治具12の切欠部内に収納され、収納時には、磁石リング体2に面したイジェクト・リング部18の端面と、ベース治具13の上面とが同一平面となる。従って、磁石リング体2との接触面積が大きく設定されているので、後述するよう

## 16

にフープ5を装着した磁石リング体2の大面积部分を無理なく押圧して、ベース治具13から磁石リング体2を取外せるようにしている。

【0077】また、ベース治具12のイジェクト・リング部18の背面側には、このイジェクト・リング部の周上に沿って所定の間隔を設けて、ネジ溝が形成された押出しネジ用のネジ孔18aが複数形成され、このネジ孔18aに押出しネジ18bを装着することにより、イジェクト・リング部18をベース治具12の上面から突出させることができるようにしている。従って、図8に示すように、ガイド治具13を用いて、フープ5を磁石リング体2に装着を完了した後は、図9(b)に示すように、これらの押出しネジ18bを用いて、イジェクト・リング部18をベース治具12の接触面から突出させ、フープ5が装着された磁石リング体2の損傷を防止しながら容易に取外することができる。

【0078】次に、本組立て治具1を用いて、フープ5を磁石リング体2を装着する手順を説明する。この装着手順は、組立て治具1に磁石リング体2をセットする準備手順と、フープ5を磁石リング体2外周に拡張しながら圧入する装着手順と、フープ5を装着された磁石リング体2を組立て治具1から分離するとともに、後押し中間フープ41をガイド治具13から分離する分離手順とから構成されている。

【0079】まず、準備手順においては、図3に示すように、組立て治具1に磁石リング体2を、互いに同軸上にセットする。すなわち、磁石リング体2のリング状部材3下側外周を、ベース治具12の基準位置決め部16に係合させることにより、ベース治具12に磁石リング体2が、互いに同軸上にセットされる。また、このように同軸にセットされた磁石リング体2にガイド治具13が、磁石リング体2のリング状部材3上側外周を、ガイド治具13のスカート部45の基準位置決め部45aに係合させることにより、同軸上にセットされる。従って、ベース治具12の切欠溝状の内周面である基準位置決め部16に、磁石リング体2の外周に取付けられたリング状部材3の下端外径を、挿嵌してセットし、更に、このリング状部材3の上端外径に、ガイド治具13のスカート部45の内周面である基準位置決め部45aを挿嵌してセットすることにより、これらの基準位置決め部16、44aと磁石リング体2のリング状部材3上下突出部外周との係合により、これら三者が互いに厳密な同軸に位置される。

【0080】次に、装着手順においては、まず、フープ5がガイド治具13の外周を装着方向に移動すると、ガイド治具13の拡張ガイド面部により、所定にフープ5が拡張される。更にフープ5が移動し続けると、ガイド治具13のつなぎ部を介して、移行部に移動する。

【0081】そして、図7(a)に示すように、フープ5の先端がガイド治具13から、リングに移り移る際に

17

は、磁石リング体2外周のリング状部材3の上端を、ガイド治具13にスカート部45に係合させているので、ガイド治具13下端とリング状部材3の上端とに段差が生じることを解消している。すなわち、フープ5の先端がガイド治具13から、リングに乗り移る際には、このフープ5によりガイド治具13が縮径されると同時に、この縮径されたガイド治具13のスカート部45に係合されたリングが同様に縮径されるので、ガイド治具13とリングとの間に段差が生じることが防止され、この作業時点で、フープ内周に不慮の損傷を生じることが解消

【0082】次に、フープ5が磁石リング体2に乗り移った中間状態においては、リング状部材3に鉄系の素材を用いているので、フープ5によりリング状部材3が摺り取られることが防止される。

【0083】そして、図7(b)に示すように、フープ5の大部分が磁石リング体2に乗り移った際には、フープ5を後押し中間フープ41により装着移動させているので、フープ5が供給していた圧縮力を、後押し中間フープ41が同一状態に補充するので、ガイド治具13と磁石リング体2との間に圧縮力差に基づく段差が生じることが防止され、この段差によるフープ5の損傷を回避

【0084】このようにしてフープ5は、図8に示すように、後押し中間フープ41とガイド治具13を用いて、不必要に損傷すること無く所定径に拡張されて、磁石リング体2の外周をスライド移動して装着され、装着手順が終了する。

【0085】次に、分離手順においては、まず、フープが装着された磁石リング体2からガイド治具13を分離し、次に、ベース治具から磁石リング体2を分離する。また、同様に、ガイド治具13に残留した後押し中間フープ41を、ガイド治具13から分離している。

【0086】すなわち、図9(a)に示すように、エジェクト・リング部19をガイド治具13の接触面から突出させ、フープが装着された磁石リング体2からガイド治具13を分離する。この際には、後押し中間フープ41のガイド治具13に接触する部分が、磁石リング体2のリングに接触する部分より大きくなるように設定されているので、後押し中間フープ41がガイド治具13側に残留して、ガイド治具13とともに分離される。

【0087】次に、同様に、図9(b)に示すように、エジェクト・リング部18をベース治具12の接触面から突出させ、ベース治具12からフープが装着された磁石リング体2を分離する。

【0088】このようにして、図10に示すように、後押し中間フープ41が残留したガイド治具13、フープ5を装着した磁石リング体2、ベース治具12を、損傷することなく容易に分離される。

【0089】最後に、このようにガイド治具13に残

18

た後押し中間フープ41を、押圧治具14を用いて、ガイド治具13から分離する。すなわち、図11に示すように、押圧治具14により、後押し中間フープ41を装着方向に移動させて分離するが、この際に、後押し中間フープ41の分離移動に伴い内径が拡張するテーパ面を形成しているため、後押し中間フープ41とガイド治具13とが当接する径差、つまり、締め代が減少され、後押し中間フープ41がガイド治具13に供給する圧縮力を減少することができる。この結果、後押し中間フープ41及びガイド治具13を不必要に損傷することを防止でき、繰り返し使用することが可能となる。

【0090】また、磁石部1として、フープ5を多重に装着する場合は、装着するフープに応じた後押し中間フープ41とガイド治具13とを用いて、このような手順が繰り返される。

【0091】そして、最終的に、所定のフープ5を多重に装着した後は、各リング状部材3の突出部を、磁石リング体2及びフープ5の上下面に沿って削除し、上下面を平坦にして、磁石部1としての製作が完成する。

【0092】以上説明したように、本具体例によれば、フープの材料強度特性に応じた形状に形成されたガイド治具を用いてフープ装着作業を行うことにより、フープの損傷を確実に防止しながら、所定の締め代を確保して、フープを磁石リング体に圧入装着することができ、このフープにより磁石部に予め圧縮力を付与することにより、磁石部としての回転破壊耐性を向上させることができる。

【0093】また、リング状部材の上端及び下端を磁石リング体の上下面から突出して形成し、この突出部の先端外周を切欠くとともに、この突出部に対応したスカート部をガイド治具の下端外周に設け、組立て治具のセット時には、この突出部をガイド治具のスカート部に係合させたことにより、フープの先端がガイド治具から、リングに乗り移る際に、フープ内周を不必要に損傷すること防止している。すなわち、この際には、このフープによりガイド治具が縮径されると同時に、この縮径されたガイド治具のスカート部に係合されたリング状部材が同様に縮径されるので、ガイド治具とリングとの間に段差が生じることが防止され、フープ内周を不必要に損傷することが解消できる。

【0094】更に、フープの装着方向の後端を後押し中間フープにより押しつけて装着移動させていることにより、フープの大部分が磁石リング体側に乗り移った際にも、このフープが供給していた圧縮力を、後続する後押し中間フープが同一状態に補充するので、圧縮力の格差により段差が生じることが防止され、この段差によるフープの損傷を回避できる。すなわち、このような後押し中間フープを用いない場合には、フープの大部分が磁石リング体側に乗り移って磁石リング体が縮径すると同時に、このフープからの圧縮力の大部分が解除された治具が拡張

50

して、段差が生じることになるが、後押し中間フープを設けたことにより、これを回避することができる。この結果、フープ装着作業の終了間際に、フープの装着方向の後端が欠損することを防止することができる。

【0095】また更に、フープと同一な素材（CFRP）によりリング状に形成された後押し中間フープの締め代を、装着するフープよりも減少して設定していることにより、ガイド治具から後押し中間フープを分離する際には、この後押し中間フープからガイド治具を締め付ける圧縮力が軽減され、分離作業をスムーズ化するとともに、この作業時にガイド治具及び後押し中間フープ自体を不要に損傷することを防止している。

【0096】また、後押し中間フープの装着方向に対して後端側の内周全周に亘って、後端側の開口部に向かって拡張するテーパ面を形成していることにより、押圧治具により後押し中間フープを装着方向に移動させて後押し中間フープをガイド治具から分離する終了する付近において、このテーパ面により後押し中間フープがガイド治具に当接する径差、すなわち、締め代が、徐々に減少されるので、後押し中間フープによるガイド治具への圧縮力を、減少できる。この結果、後押し中間フープ及びガイド治具に対する不慮の損傷を防止でき、繰り返し使用することが可能となる。

【0097】更に、本具体例においては、フープを多重に装着し、単一のフープによって所定の圧縮力を供給することに比べて、各多重フープから供給される合計した圧縮力が、所定量になればよいので、各フープが分担する圧縮力、つまり、各フープの締め代を小さくすることができる。従って、このように各多重フープの締め代を減少できるので、各フープに対応したガイド治具の拡張ガイド面部の傾斜角度を小さくしてフープが剪断破壊することを低減させたり、全体の高さ寸法を短縮したりしてコンパクト化を図ることができるとともに、治具製作を容易化することができる。

【0098】また更に、このフープの多重化により、磁石に対する圧縮応力分布が均一化され、この磁石に対する圧縮応力分布の均一化は、付与される圧縮応力のバラツキを回避することが可能となり、つまり万遍なく圧縮応力が付与されることになり、応力付与の局所的な不均一に起因する磁石の回転破壊を阻止することができ、装置の安全性と信頼性を向上させることができる。

【0099】次に、本発明を図12ないし図16に示す第2具体例に基づいて説明する。

【0100】本具体例の組立て治具11は、図12に示すように、前記具体例と基本的に同様な、フープ5の後端側に装着された後押し中間フープ41と、後押し中間フープ41を装着移動させる後押し部材14と、磁石リング体2を載置するベース治具12と、この磁石リング体2に同心に載置され、所定外形状に形成されてフープ5拡張しながら磁石リング体2の外周にスライド移動さ

せるガイド治具13とから構成され、フープ5圧入方向の先端側に装着されるガイドフープ42と、このガイドフープ42用にベース治具12に設けた切欠部と、ベース治具12に形成したスカート部44を、新たに追加して構成されている。

【0101】尚、本具体例のガイド治具13において、フープ5を拡張ガイドする外周面の形状は、上述した第1具体例と同様なものが用いられているので、説明を省略することにする。

10 【0102】また、本具体例においては、予め磁石リング体2の外周に装着されているリング状部材3は、比較的に高強度で、ヤング率が小さく、しかも比重が小さいアルミ系素材を用いることが望ましい。もっとも、鉄等の金属を用いることも、可能である。

【0103】更に、磁石リング体2の外周に装着されているリング状部材3の下方突出部は、上記具体例と異なり、内周側の突出部が、外周側の突出部より大きく突出された形状に形成されている。

20 【0104】上記ガイドフープ42は、上述した後押し中間フープ41と同様に、フープ5と同一な素材（CFRP）により、リング状に形成されている。また、このガイドフープ42の内径半径は、フープ5よりも僅かに大きく設定され、締め代を軽減させている。従って、後述するベース治具からガイドフープ42を分離する際には、このガイドフープ42からベース治具を締め付ける圧縮力が軽減され、スムーズな分離作業を行えるようにするとともに、ベース治具12及びガイドフープ42自体を不必要に損傷することを防止している。

30 【0105】また、ガイドフープ42の装着方向に対して先端側の内周全周に亘って、テーパ面が形成され、このテーパ面は、先端側の開口部から縮径するような形状に形成されている。従って、このガイドフープ42がフープ5より先行して装着方向に移動し、この移動方向の先端側に設けられたテーパ面によって、リング状部材3の外周を、徐々に押圧することになるので、リング状部材3の外周を不必要に損傷することを防止でき、このリング状部材3を所定に縮径して、同様に連続して後続するフープ5による損傷も回避できる。

40 【0106】また、ガイドフープ42を、ベース治具12から分離するには、ガイドフープ42分離用のイジェクト・リング部46を用いて、ガイドフープ42を装着方向と逆方向に移動させて分離するが、この際に、ガイドフープ42の分離移動に伴い内径が拡張するテーパ面を形成しているので、前記第1具体例と同様に、ガイドフープ42とベース治具12と当接する径差、すなわち、締め代が減少され、ガイドフープ42がベース治具12に供給する圧縮力を減少できる。この結果、ガイドフープ42及びベース治具12を不必要に損傷することを防止でき、両者を繰り返し使用することが可能となる。

## 21

【0107】また、磁石リング体2又はこの外周に装着されたリング状部材3が、真円形状から変形した少々いびつな形状や、局所的に変形した場合にも、このガイドフープ42によって、所定の円形状に整形することができることになり、連続的に後続するフープ5をスムーズに装着できることになる。

【0108】前記ベース治具12は、円筒台座状の上面が平坦な形状に形成され、ガイド治具13と同様に、上面にセットされる磁石リング体2のリング状部材3に係合するスカート部44が形成され、このスカート部44の外周側には、切欠スペースがガイドフープ42の外形状に等しく設定された切欠部が設けられている。また、この切欠部の底部には、ガイドフープ用のイジェクト・リング部46が設けられ、同様に、スカート部44の内周側には、イジェクト・リング部18が設けられている。

【0109】このスカート部44は、ガイド治具13のスカート部45と同様に、磁石リング体2のリング状部材3の下方突出部に応じた切欠き形状に形成され、セット時には、リング状部材3の下方突出部が係合するよう

【0110】従って、上述した磁石リング体2のリング状部材3の下方突出部を、このスカート部44の基準位置決め部44aに係合して、ベース治具12に磁石リング体2を正確に同軸位置決めしてセットできる。

【0111】また、この磁石リング体2外周のリング状部材3突出部を、内周側の突出部が外周側の突出部より大きく突出された形状に形成し、フープ5を所定に装着した後も、フープ5の先端は、リング状部材3外周位置に留まるので、不要な損傷を防止できる。また、このように形成されたリング状部材3の突出部をベース治具12のスカート部44に係合しているもので、ガイドフープ42が、ベース治具12にスムーズに乗り移ることができる。更に、ガイドフープ42がベース治具12に乗り移る際及び大部分が乗り移った際には、このガイドフープ42によりガイド治具13を縮径すると同時に、この縮径されたガイド治具13のスカート部44に係合されたリング状部材3を同様に、外周から縮径するので、ベース治具12とリング状部材3との間に段差を生じることが防止され、この段差によりフープ5やリング状部材3を異形状に変形することを防止できる。

【0112】また、この切欠部は、その切欠スペースが、ガイドフープ42の外形状に等しく設定され、フープ装着時には、このスペース内にガイドフープ42を収納できるようにしている。従って、図14に示すように、フープ5の装着を完了したときには、この切欠スペースにガイドフープ42が収納され、フープ5が異形状に変形することを防止でき、正常に磁石リング体2の外周に装着することができる。

【0113】このように構成された本組立て治具11

## 22

は、上記具体例と同様な装着手順を用いて、フープ5を磁石リング体2に装着している。すなわち、この装着手順は、図12に示すように、組立て治具1に磁石リング体2をセットし、次に、図13に示すように、フープ5を磁石リング体2外周に拡張しながら圧入して装着を完了し、更に、図14(a)、(b)に示すように、各イジェクト・リング部18、19を用いてフープ5を装着された磁石リング体2を各治具12、13から分離し、図15に示すように、これらの3者を分離し、図16(a)、(b)に示すように、各治具12、13に残留したフープ41、42を分離する手順から構成されている。

【0114】以上説明したように、本第2具体例によれば、前記第1具体例と同様な効果を奏するのみならず、フープの装着方向の先側に、ガイドフープを設けるとともに、フープ装着終了時において、このガイドフープを収納する切欠部をベース治具に設けたことにより、フープ装着時において、フープの装着を終了したときには、この切欠スペースにガイドフープが収納され、フープが異形状に変形することを防止でき、正常に磁石リング体の外周に装着することができる。

【0115】また、ガイドフープの装着方向に対して先端側の内周全周に亘って、先端側に拡張するテーパ面を形成したことにより、このガイドフープがフープより先行して装着方向に移動し、この移動方向の先端側に設けられたテーパ面によって、リング状部材の外周を、徐々に押圧することができるので、磁石リング体外周のリング状部材をアルミ製としたものに対応することができ、高回転化を図ることができる。

【0116】このように本発明の各具体例によれば、フープを損傷すること無く確実に磁石部外周に装着して、予め磁石部に圧縮力を付与できるので、見掛け上の引張り応力に対する強度を高めることになり、磁石部の回転破壊耐性を向上することができる。従って、特に、大重量フライホイールを高速回転させ、この回転エネルギーによって電力貯蔵する電力貯蔵装置に用いる超電導磁気軸受装置には、本具体例は最適な構成である。

【0117】また、磁石にはPr-F e-B-Cu系磁石を使用した具体例を示したが、本発明はこれに限らず、フェライト、アルニコ、或はネオジウム系、サマリウム系等、他の全ての永久磁石を使用することができることは勿論である。更に、超電導体についても、イットリウム高温超電導体を始めとして、例えば希土類系の元素を含む(R E-B a-C u-O)系等全ての超電導体が適用可能である。尚、ここで、R EはY, S m, E u, G d, D y, H o, E r, Y bからなる元素群から選ばれた1又は2以上の元素を表わす。

【0118】更に、具体例において、フープによる周巻き圧縮力が、回転体部Bの非回転時において100K g/mm<sup>2</sup>以下となるように設定したが、本発明はこれに

## 23

限られずに、用いられる磁石が有する圧縮破壊の限界応力を超えない圧縮力を付与するものである。また、磁石のフープとしては、CFRPのほかにも、例えばグラスファイバー強化プラスチック（GFRP）を用いる等、磁石よりも比重が小さく、且つ引張破壊の限界強度が大きい材料を適宜に用いることができるものである。

## 【0119】

【発明の効果】以上説明したように、本願第1請求項に記載した超電導磁気軸受装置における磁石部の組立て治具によれば、磁石圧縮用のフープは、ガイド治具の傾斜面を押圧治具等により押されて、所定の締め代分まで拡張され、そしてこのときフープによりガイド治具が縮径されると同時に、この縮径されたガイド治具の端部（スカート部）に係合されたリング状部材が同様に縮径されるので、ガイド治具とリングとの間に段差の生じることが防止され、フープ内周の不慮の損傷を回避できる。

【0120】本願第2請求項に記載した発明、すなわち超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部に、組立て治具を用いて補強部材を装着する方法によれば、磁石圧縮用のフープは、ガイド治具の傾斜面を押圧治具等により押されて、所定の締め代分まで拡張され、更にフープが移動し続けると、ガイド治具のつなぎ部を介して、リング状部材にスムーズに移動することができる。そして、フープの大部分が磁石リング体に移り移った際には、フープを後押し中間フープにより装着移動させているので、フープが供給していた圧縮力を、後押し中間フープが同一状態に補充するので、ガイド治具と磁石リング体との間に圧縮力差に基づく段差が生じることが防止され、この段差によるフープの損傷を回避することができる。

【0121】本願第3請求項に記載した発明、すなわち超電導磁気軸受装置の回転体部に装着される磁石部に、組立て治具を用いて補強部材を装着する方法によれば、ガイドフープによりガイド治具が縮径されるとともに、ガイドフープがリング状部材に移り移って当該リング状部材が同様に縮径されるので、ベース治具とリング状部材との間に段差を生じることが防止され、後行する本来のフープがスムーズにリング状部材に移り移ることを可能とする。更に、後押し中間フープを設けているので、フープの大部分が磁石リング体に移り移った際には、フープを後押し中間フープにより装着移動させることとなり、これによりフープが供給していた圧縮力を、後押し中間フープが同一状態に補充するので、ガイド治具と磁石リング体との間に圧縮力差に基づく段差が生じることが防止され、この段差によるフープの損傷を回避することができる。

【0122】本願第4請求項に記載した発明は、後押し中間フープ及び（又は）前記ガイドフープが、前記磁石リング体圧縮用のフープと同一材料により形成されるとともに、同一径もしくは、やや大きめで締め代が小さい

## 24

径を備えているので、後押し中間フープの働き、及び（又は）ガイドフープの働きは、これらの両フープが同一材料且つ内径が同一又は僅かに大きく設定されていることにより、もしくは、段差を軽減できることにより、本来のフープに係属して確実に且つ円滑になされ得るものである。

【0123】このように、本発明によれば、圧入装着に最適なフープの形状寸法が得られ、そして、フープを損傷すること無く確実に磁石部外周に装着して、磁石部に圧縮力を付与できるので、磁石部の回転破壊耐性を向上することができるものである。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体例に係り、超電導磁気軸受装置の主要部を示す一部破断した概略斜視図である。

【図2】本発明の具体例に係り、磁石部及び治具の概略全体構成を示す分解斜視図である。

【図3】本具体例の組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図4】ガイド治具とリング状部材との連結部を示す図である。

【図5】フープを治具を介して磁石リング体に装着する状態を示す図である。

【図6】フープを治具を介して磁石リング体に装着する状態を示す図である。

【図7】フープを治具を介して磁石リング体に装着する状態を示す図である。

【図8】本発明の具体例に係り、組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図9】本発明の具体例に係り、組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図10】本発明の具体例に係り、組立て治具の主要部を分解して示す縦断面図である。

【図11】治具とフープの摺接状態を示す図である。

【図12】本発明の他の具体例に係り、組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図13】本発明の他の具体例に係り、組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図14】本発明の他の具体例に係り、組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図15】本発明の他の具体例に係り、組立て治具の主要部を分解して示す縦断面図である。

【図16】本発明の他の具体例に係り、組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図17】本発明者が先に提案した組立て治具の主要部を示す縦断面図である。

【図18】磁石リング体のリング状部材にフープを圧入する状態を示す図である。

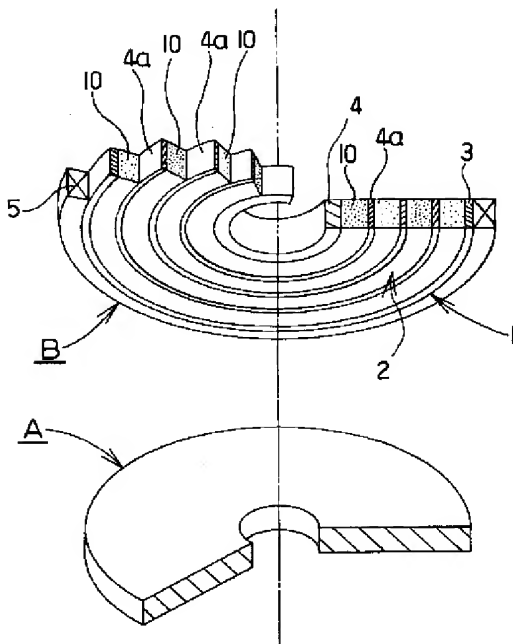
## 【符号の説明】

- A 固定体部
- B 回転体部

25

- 1 磁石部
- 2 磁石リング体
- 3 リング状部材
- 4 ハブ
- 4a 軟磁性体ヨーク
- 5 フープ
- 10 環状永久磁石
- 11 組立て治具
- 12 ベース治具
- 13 ガイド治具
- 13A ガイド治具の拡径ガイド面部
- 13B ガイド治具のつなぎ部
- 13C ガイド治具の移行ガイド部
- 14 押圧治具（後押しパイプ状治具）
- 16 ベース治具の基準位置決め部
- 17 ガイド治具の基準位置決め部
- 18 ベース治具のイジェクト・リング部
- 18a 押し出しネジ用孔
- 18b 押し出しネジ
- 19 ガイド治具のイジェクト・リング部
- 19a 押し出しネジ用孔

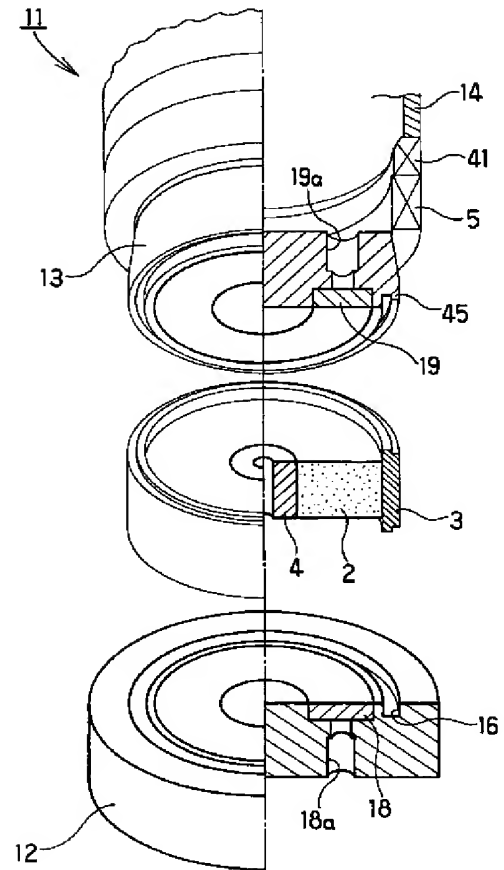
【図1】



26

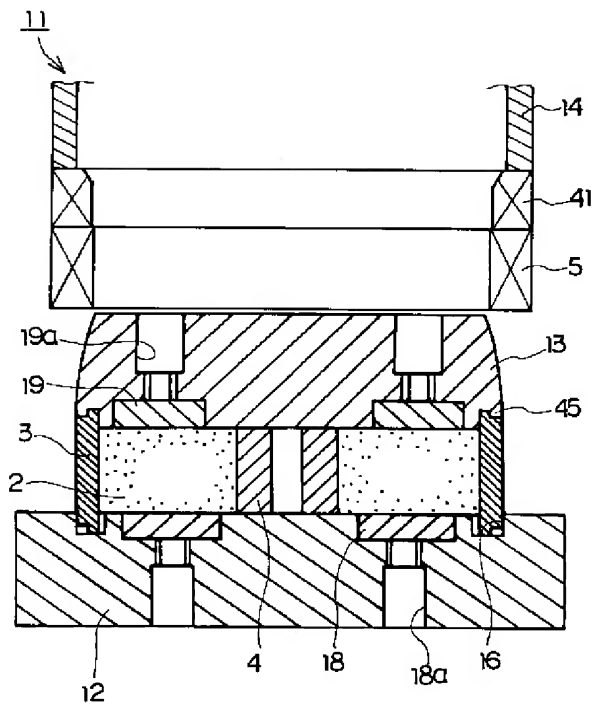
- 19b 押し出しネジ
- 19c 通常固定用ネジ
- 41 後押し中間フープ
- 42 ガイドフープ
- 44 ベース治具のスカート部
- 44a ベース治具のスカート部の基準位置決め部
- 45 ガイド治具のスカート部
- 45a ガイド治具のスカート部の基準位置決め面部
- 45b ガイド治具のスカート部の上下突き当て基準面
- 10 部
- 46 ベース治具の先フープ用イジェクト・リング部
- 46a ガイドフープ用の押し出しネジ用孔
- 46b ガイドフープ用の押し出しネジ
- a フープ装着後に後フープがガイド治具と接触する長さ
- b フープ装着後に後フープがリング状部材と接触する長さ
- h スカート部の径方向の長さ
- t スカート部の軸方向の突出高さ
- 20 P フープにより供給される圧縮力
- τ フープによりスカート部に生じる剪断応力

【図2】

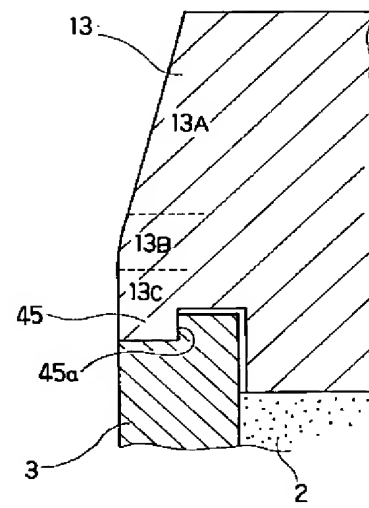




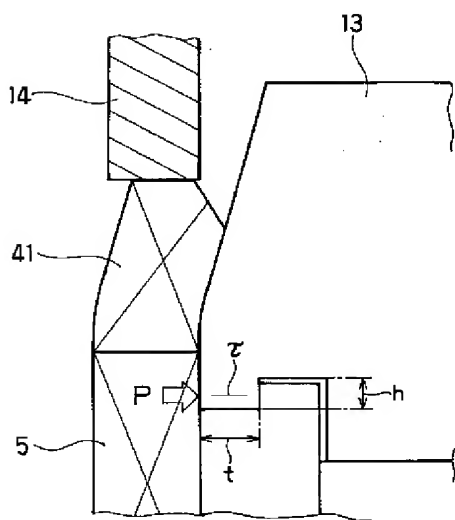
【図3】



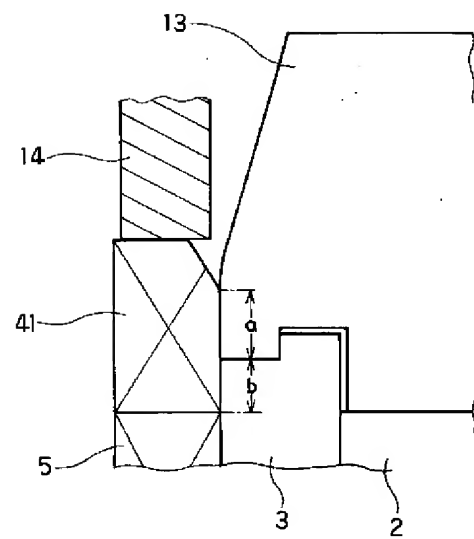
【図4】



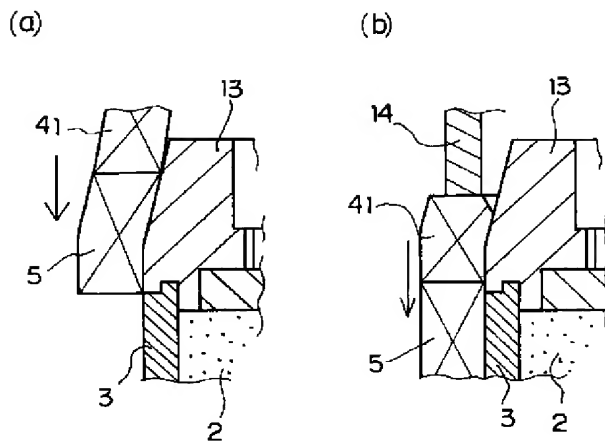
【図5】



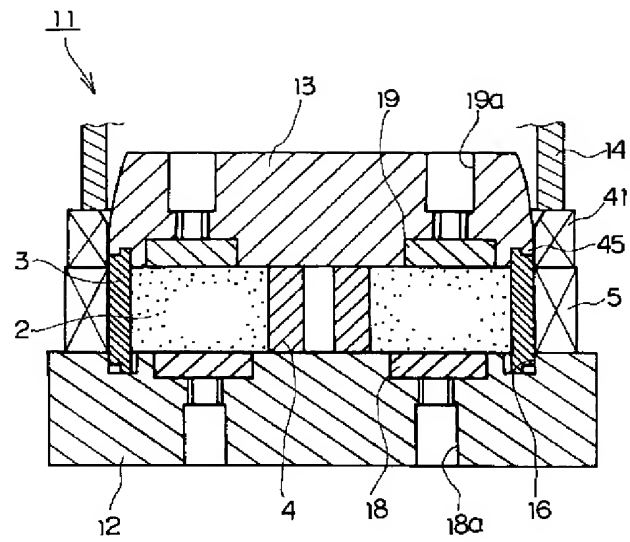
【図6】



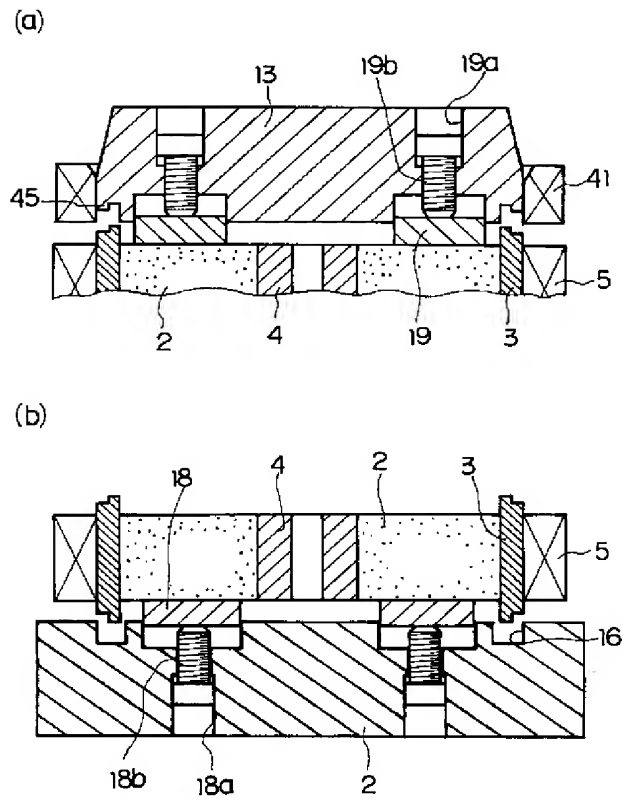
【図7】



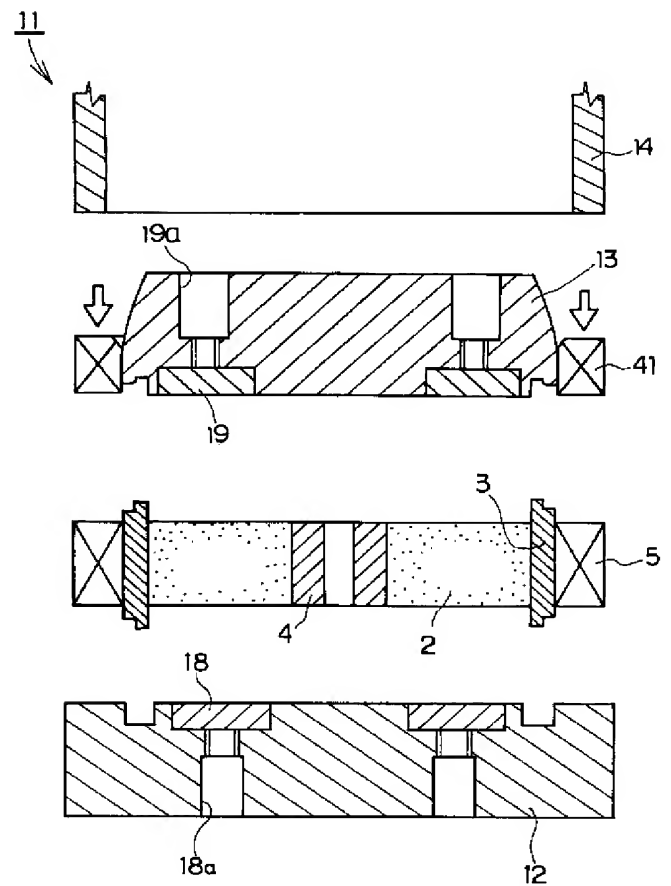
【図8】



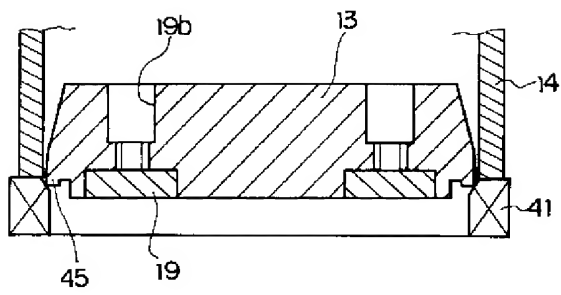
【図9】



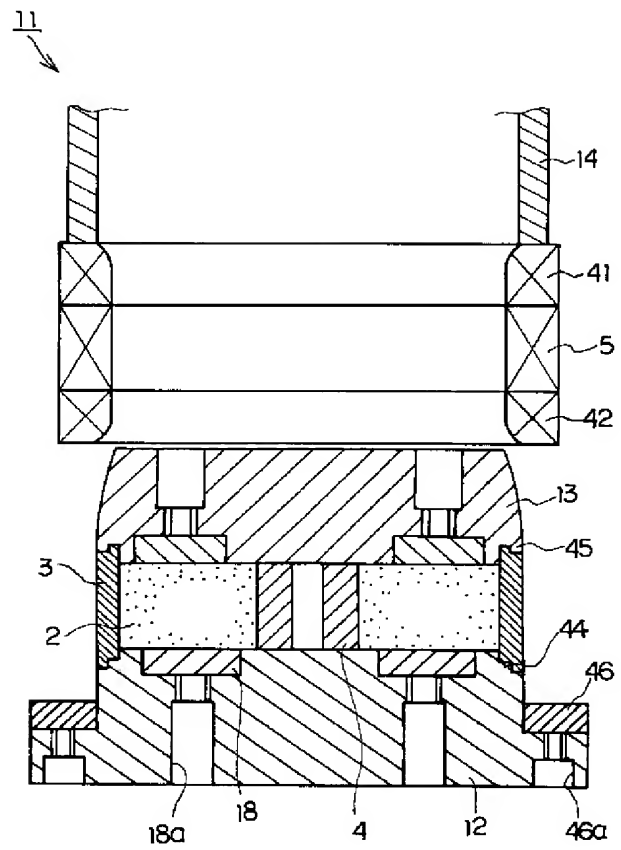
【図10】



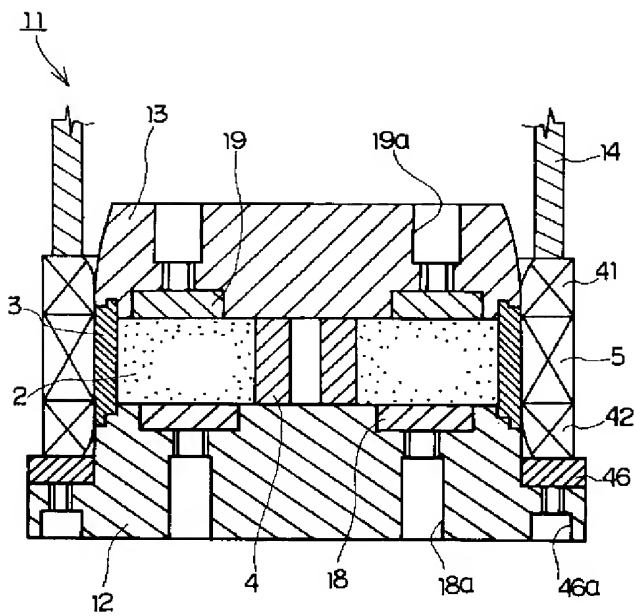
【図11】



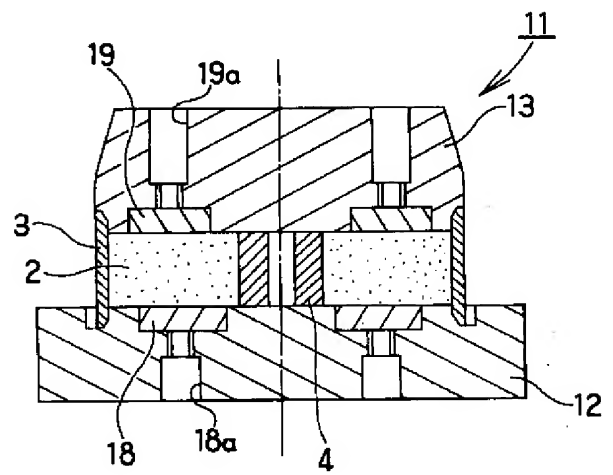
【図12】



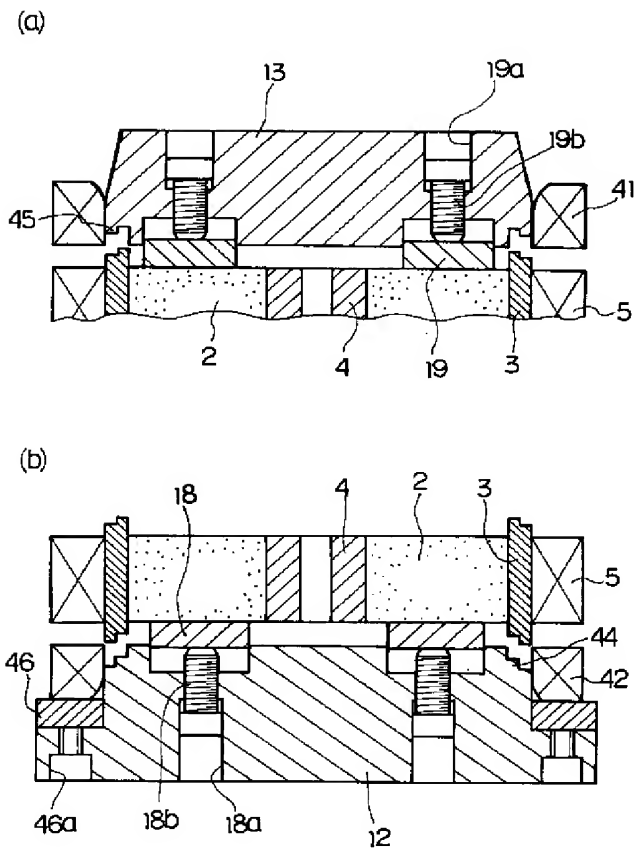
【図13】



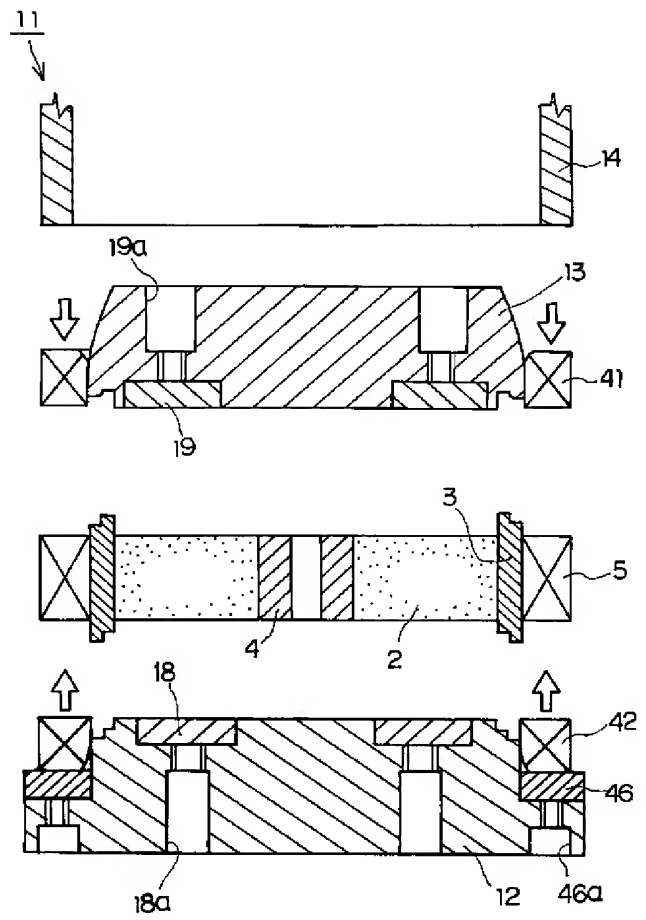
【図17】



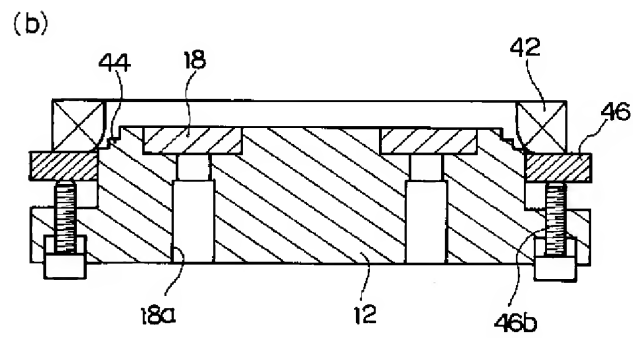
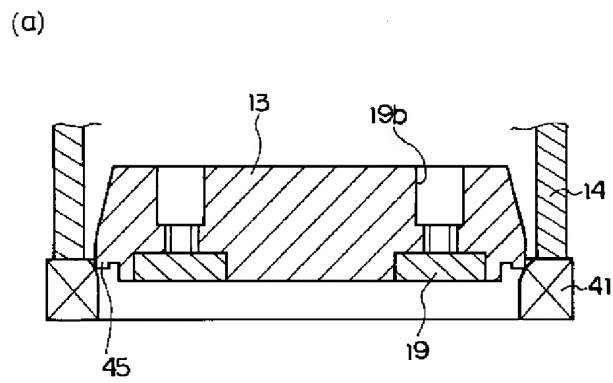
【図14】



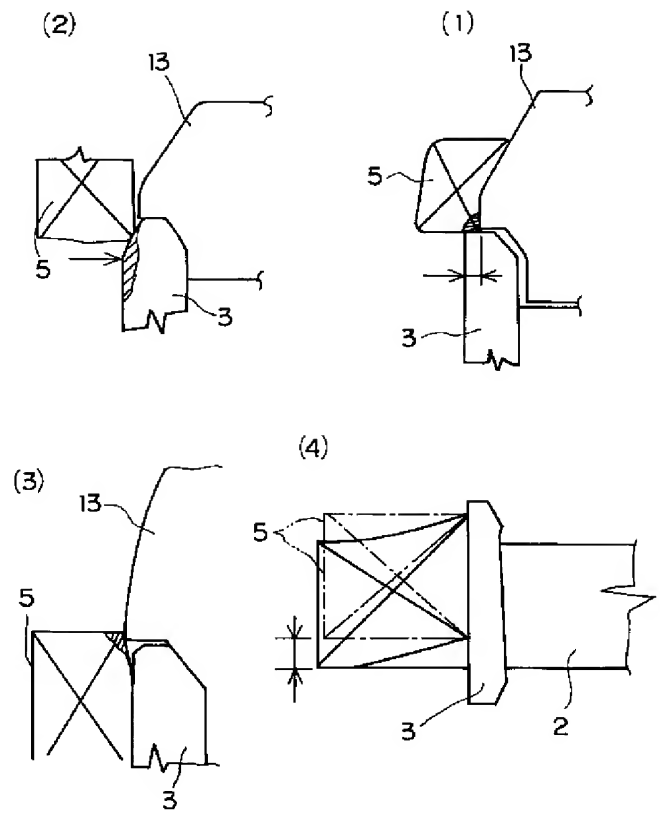
【図15】



【図16】



【図18】



DERWENT-ACC-NO: 1997-268280

DERWENT-WEEK: 200449

COPYRIGHT 2009 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Mounting method of assembly jig and magnet reinforcement of superconductive magnet bearing apparatus involves use of guiding jig which forms connection between guiding jig and insert ring, and by which insert ring becomes inner side

INVENTOR: IMAIZUMI H; ITO N ; SHINOZAKI J

PATENT-ASSIGNEE: SEIKO EPSON CORP[SHIH]

PRIORITY-DATA: 1995JP-254331 (September 29, 1995)

## PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE
JP 09096313 A	April 8, 1997	JA
JP 3546562 B2	July 28, 2004	JA

## APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
JP 09096313A	N/A	1995JP-254331	September 29, 1995
JP 3546562B2	Previous Publ	1995JP-254331	September 29, 1995

## INT-CL-CURRENT:

TYPE	IPC DATE
CIPP	F16C32/04 20060101
CIPS	H02J15/00 20060101

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 09096313 A

## BASIC-ABSTRACT:

The method involves the mounting of a carbon fiber-reinforced plastic ring (5), whose internal diameter is smaller than outside diameter of a magnetic ring (2), to



a peripheral side of the magnetic ring. The magnetic ring press-fits a toroidal permanent magnet (10) and a toroidal yoke (4a). The toroidal permanent magnet is compressed into the radial and peripheral direction with the plastic ring.

A base jig loads the magnetic ring concentrically. A guiding jig which forms a slope where the plastic ring is fastened is loaded in the magnetic ring concentrically. An insert ring (3) whose peripheral surface ranges to the slope of the guiding jig is mounted to the peripheral side of the magnetic ring. The guiding jig forms a connection section, by which the insert ring is set in the inner side, between the guiding jig and the insert ring.

USE/ADVANTAGE - Used in power storage facility which e.g. converts output of hydraulic machine, machine tool that rotates at high-speed into rotary energy of flywheel. Avoids accidental damage in plastic ring inner peripheral. Prevents difference in level between guiding jig and ring.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/18

TITLE-TERMS: MOUNT METHOD ASSEMBLE JIG MAGNET REINFORCED  
SUPERCONDUCTING BEARING APPARATUS GUIDE FORM  
CONNECT INSERT RING INNER SIDE

DERWENT-CLASS: Q62 X12 X16 X25

EPI-CODES: X12-C05A; X12-H06; X16-L; X25-L06;

SECONDARY-ACC-NO:

Non-CPI Secondary Accession Numbers: 1997-222167